

アサマ  
NEWS

パート

2016-11 No.175

## 食品の微生物変敗と 防止技術

### (14) 海苔製品の微生物変敗と制御

#### 1. はじめに

海苔は食用海藻の中でも最も栄養的に優れた食品であり、タンパク質含量は乾物当たり25~50%であり他の食品の中でも多い。アラニン、グルタミン酸、アスパラギン酸、グリシン、ロイシンなどのアミノ酸が多く存在するが、制限アミノ酸はリジンである。このため微生物による変敗が生成し、海苔工場ではタンパク質の変敗臭がする。海苔の脂質は乾物当たり2.1%であるが、全脂肪酸の約50%をイコサペンタエン酸が、約3%がパルミチン酸が占める。低温環境下で生育した海苔はリノール酸からイコサペンタエン酸に変換する。」このため、乾し海苔の製造は原藻の摘採から製品化まで数時間の全作業を低温の条件下で行う。乾燥工程は30℃で2時間であり、その水分変化は原藻90%、細断、洗浄95%、乾燥13%であるので微生物変敗は生じる。乾し海苔の品質は色、艶、香、味であり、さらに焼いた時の焼き色が重要である。海苔の品質を保持するためにはタンパク質(25~50%)、糖質(40%)を含むので微生物の増殖は早い。このため、乾し海苔の製造には水分管理と温度管理が重要である。

#### 2. 海苔の変敗

##### 2.1 化学的変敗と制御

乾し海苔の色調を形成する色素は、クロロフィルの青緑色、カロチノイドの黄色、フィコエリトリンの赤色、フィコシアニンの青色で、それぞれの組み合わせで色調が形成される。乾し海苔の色調が劣化する多くはクロロフィルとアントシニンが分解して退色し、比較的安定なフィコエリトリンとフィコアントニンによって赤紫色を呈する。このように海苔の色素成分は、大きく分けて緑藻素(主にクロロフィル)、紅藻素(フィコエリスリン)、藍藻素(フィコシアニン)に分解され、このほかに黄藻素(カロチノイド)などが含まれている。この中で緑の色素は水に弱く、湿気を含むことにより分解され、残った赤と青の色素で紫色になる。

焼き海苔は熱に弱い青と赤の色素の大半が分解されるが、20%程度が残り、その状態では熱に強い葉緑素の緑色が焼き海苔の色として残り、時間の経過とともに、残存する青と赤の色素が変性し、緑色が少し茶色っぽい色に変化する。

また、適度に焼き海苔に水分を含ませると、海苔巻きなどにすると、水分の付加により、葉要素の緑が分解され、紅藻素と藍藻素の色が加わり、黒っぽく変化する。さらに、海苔は光や温度、湿度で変化し、温度や湿度の高いところ

に置くと劣化が進んで赤く変色する。海苔巻おにぎりや海苔ふりかけご飯が赤色に変色することがある。これは海苔には赤色素(フィコエリトリン)、青色素(フィコシアニン)、緑色素(クロロフィル)、橙・黄色素(カロテノイド)が含まれているため、それらの中で赤色素は水溶性があるので、これが溶け出して米飯を赤くする。

#### 2.2 微生物変敗と制御

生海苔を洗浄した後、海苔を板状にして板状海苔を形成し、乾燥により製造するが乾燥が不十分であれば *Saccharomyces* 属酵母が増殖して白色変敗する場合がある。防止対策は水分含量が5%から12%の範囲になるように乾燥し、板状海苔の表面温度を加熱手段により、100℃から185℃で焙焼することにより、*Saccharomyces* 属酵母を300/g以下とすることができる。原藻の黄色斑点、赤色斑点白色斑点生成、軟化、崩壊は微生物に由来する。

原藻の微生物を減少させることは大変困難である。表面には粘質物が存在し、多種多様の細菌等が付着している。これまで原藻の殺菌に紫外線処理法、超音波処理法、抗生物質処理法、アルコール処理法、ヨウ素処理法、塩素処理法、オゾン処理法が行われてきた。

一般的には超音波処理により微細な付着物質を除き、複数の抗生物質混合液中で処理してヨウ素、アルコール、塩素で殺菌する。

#### 3. 海苔の微生物

##### 3.1 海水の微生物

海水中には1ml当りに $10^5 \sim 10^6$ の微生物が生息しているために、海苔は常に1g当たり $10^5 \sim 10^6$ の微生物が付着している。

細菌の他にも多数の珪藻類が検出される。海苔は海水中の細菌と共生関係にあり、海苔の生育には重要な役割を果たしている。最近の衛生管理により海苔の製品においても菌数が測定され、その品質の評価の対象となっている。

##### 3.2 養殖海苔の微生物

海苔は葉体に粘質多糖類を分泌し、そこには極めて多くの細菌が共生している。正常な葉体の表面には湿重量1g当たり $10^3 \sim 10^5$ の細菌が付着し生育している。汚染された海苔では $10^8 \sim 10^9$ の細菌が検出される。

葉体から微生物を除去して培養すると成長が抑制され、葉体はリボン状のカールになり、糸状あるいは塊状になり、正常な形態とはならない。この原因として共存する微生物が考えられ、これらの微生物は栄養素の供給、毒物の中和、細胞表面の化学環境の安定化に重要な役割を果たしている。

また、細菌は海苔が成長していく上で必要な植物ホルモンを生産している可能性もある。これまでに養殖海苔で検出された細菌はグラム陰性細菌として *Acinetobacter*、*Aeromonas*、*Alcaligenes*、*Altermonas*、*Enterobacteriaceae*、

*Flavobacter*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Vibrio*がグラム陽性細菌として*Bacillus*, *Staphylococcus*が検出される。これらの細菌は人間に対して病原性は全くない。

*Flavobacter*と*Pseudomonas*は海水中に多く検出される細菌である。この菌は70℃、10～30分加熱で死滅する。しかし、乾燥状態では100℃以上の加熱でも死滅しない。海苔は細菌性の病気や真菌性の病気が発生し、大きな損害を与えている。

最も多いのが*Pythium*（藻菌類）の赤腐れ病である。わが国のみならず韓国、台湾等の東南アジアでも毎年発生し、品質の低下、収量の低下、海苔製品の香りの低下がある。赤腐れ病が発生すると海苔網の早期摘採、酸処理、オゾン処理、紫外線処理、干出等に対応する。海苔網の殺菌・消毒には塩素処理及びオゾン処理が有効である。養殖海苔の微生物変敗を表に示した。

表 養殖海苔の微生物変敗

1. 海苔 (スサビノリ)	黄斑病	小型細菌、リケチャ、マイコプラズマ
2. 海苔 (スサビノリ)	緑斑病	<i>Pseudomonas</i> , <i>Vibrio</i>
3. 海苔	崩壊	<i>Agaracterium</i> , <i>Beneckea</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Cytophaga</i> , <i>Vibrio</i>
4. 海苔	巨大空隙	<i>Staphylococcus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Escherichia</i> <i>Flavobacterium</i> , <i>Aeromonas</i>
5. 海苔	白クサレ病 燻の過剰摂取	
6. 海苔	赤腐れ病	<i>Pythium</i> （藻菌類）
7. 海苔	壺状菌病	<i>Olpidiopsis</i> （藻菌類）
8. 海苔	スミノリ症	<i>Flavobacterium</i> , <i>Vibrio</i>
9. 海苔 (色落ち)	糸状菌付着症	<i>Leucothric mucor</i>

外国産のりで検出された食中毒を起す可能性のある微生物は以下の通りである。

セレウス菌 (*Bacillus cereus*) はグラム陽性の桿菌、潜伏期は8～16時間であるが、嘔吐等は1～5時間後にでる。腹痛、水溶性下痢が8時間以後にでることもあるが、圧倒的に嘔吐が多い。海苔以外の食品では毎年発生しているが、発病には10<sup>6</sup>/g以上の量の菌が必要である。

黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus*) はグラム陽性の球菌、潜伏期は1～6時間、吐気、嘔吐、水溶性下痢を起す。中毒は本菌の産生する毒素エンテロトキシンによるものである。この毒素は熱に極めて強く、100℃、1時間の加熱でも失活しない。

### 3.3 海苔製品の微生物

乾し海苔の生菌数と菌数を検討した結果、生菌数は1.0×10<sup>5</sup>～1.0×10<sup>6</sup>/gで*Micrococcus*, *Bacillus*、大腸菌群、カビ、黄色ブドウ球菌が検出される。焼き海苔の生菌数は1.0×10<sup>3</sup>～1.0×10<sup>4</sup>/gで*Micrococcus*, *Bacillus*が検出される。海苔の微生物を多く、吸湿すれば変質する場合が多い。乾海苔の製造工程の菌数を検討すると脱水用スポンジで多くの微生物が汚染されている。乾し海苔には原藻のミンチ、熟成、スキ、脱水、乾燥等多くの工程がある。

焼海苔は高温で加熱するため生菌数は原料の乾海苔よりかなり減少する。しかし原藻の生菌数の量がそのまま移行するため、原藻の菌数低減は極めて重要である。焼海苔の生菌数に及ぼす原藻の菌数に及ぼす影響は大きい。焼海苔製造工程菌数の変化を検討すると、乾海苔：6.0×10<sup>5</sup>/g、作業台：3.0×10<sup>3</sup>/g、人の手：2.0×10<sup>2</sup>/g、製品出口付近：3.0×10<sup>2</sup>/g、焼海苔：2.0×10<sup>3</sup>/gとなった。また、味付海苔製造工程の菌数の変化は調味液用ローラーに微生物が増殖し、2.0×10<sup>6</sup>/gとなり、最終の包装味付海苔は1.0×10<sup>5</sup>/gと増加した。

## 4.海苔のオゾンによる微生物制御

### 4.1 海苔製品のオゾン処理

味付け海苔は焼き海苔に調味液をつけて製造するために、生菌数は多い。衛生管理が極めて重要な製品である。いずれにしても、原藻の菌数がそのまま乾海苔、焼海苔、と移行し、最終的には味付け海苔に移行する。原藻の衛生管理が製品の品質を左右する。

海苔の菌数減少対策を以下に示した。工場環境殺菌も重要である。

#### 海苔の菌数減少対策へのオゾンの利用技術

- ① 使用水は水道水か飲料用井戸水を用い、水の循環をさける。どうしても循環する場合はオゾン水等で殺菌してから用いる。
- ② 選別、結束を行う時は手を良く洗う。
- ③ 脱水用スポンジの洗浄を定期的に行う。同時に次亜塩素酸ナトリウム又はオゾン水を用いて洗浄・殺菌する。
- ④ 機械、器具の掃除・洗浄を定期的に行う。同時に次亜塩素酸ナトリウム又はオゾン水を用いて洗浄・殺菌する。
- ⑤ 残留しない食品添加物として既に既存食品添加物として認可され、残留しないため表示義務のないオゾン水を用いると良い。
- ⑥ 乾海苔の再加熱（火入れ）は、温度は低いので生菌数の減少は期待できない。
- ⑦ 使用水はできるだけ紫外線殺菌したもの、又はオゾン処理したものを使用する。
- ⑧ ニクロム線ヒーターや赤外線ヒーターで加熱する。
- ⑨ オゾン水を用いる場合は超音波を併用するとよい。
- ⑩ 工場環境殺菌は極めて重要で、海苔の製造工程で急激に増殖する微生物は圧倒的に工場からの二次汚染微生物が多い。工場の床や側溝、機械、装置等をオゾン水で洗浄し、殺菌、脱臭することは有効である。

### 4.2 海苔工場のオゾンガス及びオゾン水による工場殺菌

近年、食品業界では殺菌剤や防腐剤の効かない微生物により、食品の腐敗・変敗が多発しているため、これらの薬剤とは殺菌機構が全く異なるオゾン水による防止技術は有効である。

その変敗の中心はエタノールにより殺菌できない酵母、カビによる食品、次亜塩素酸ナトリウムにより殺菌できない乳酸菌による食品である。

また酵母は有機酸等の防腐剤を資化して、pHを上昇させて細菌の増殖を誘発し、食品の腐敗・変敗を促進させる。従来の薬剤等で殺菌できない食品の酵母、カビ、乳酸菌による変敗原因菌を分離・同定し、その汚染源を調べ、これらの微生物のオゾンガス、オゾン水による殺菌条件を決定する。

日本では世界に先駆けてオゾンが食品添加物として指定され、長く用いられてきた経験があり、その技術は高い。

海苔工場加工では長年の間、工場の床等の殺菌に300ppmの次亜塩素酸ナトリウム液を散布してきたが、大腸菌群や乳酸菌の増殖が認められた。これは、これらの菌が長年の使用により次亜塩素酸ナトリウムに対して抵抗力を有したものと考えられる。

このため次亜塩素酸ナトリウムと殺菌機構の全く異なるオゾンを用いて殺菌することは極めて有効である。

多くの、海苔加工工場の変敗、腐敗の原因となった微生物は、工場環境より汚染された乳酸菌が多く検出された。

海苔の変敗、腐敗微生物は塩素耐性が強く、塩素とは殺菌機構の異なる微生物が有効である。また海苔変敗、腐敗

微生物は原材料からは検出されず、冷却工程以降の製品に全て検出されたところから、冷却工程で工場より二次汚染されたものと考えられる。さらに本菌は製造工程中の落下菌、空中浮遊菌および床より検出されたところから工場環境からの二次汚染と考えられた。

### 4.3 海苔栽培へのオゾンの利用

季節的に集中生産される養殖海苔は、摘採、陸揚げ、海苔炒り製造工程の前処理として攪拌機付きタンク内で、攪拌、冷却、洗浄作業を行い活性化される。このため海水を連日約5~10トン程度採水するが、海苔葉体を切断、洗浄する工程では淡水により細断した葉体を洗浄するので、この際赤水が発生し時期的に水は少ないが1日100トン程度消費している。

淡水排水の塩分は500ppmであるが多量の泡と赤水着色および臭気により極めて不衛生である。

そこでオゾンガスやオゾン水を用いてこれらの現象を阻止することは有効である。海苔業界においても多くの企業で実用化されている。

海苔作業船を移動しながらバルブを開閉するだけの操作で殺菌装置を作動し、オゾンを含む微細気流噴流を海中網に噴射して葉体の殺菌、洗浄を行うので作業上の危険がなく、容易に海苔網葉体の殺菌、洗浄作業ができる。

海苔原藻をオゾン噴流中の海水で洗浄し、次に噴流中の淡水で洗浄し、脱水後食塩でまぶし、水密閉性容器に密封し、加熱殺菌し急速冷却して、旨み、養分を保持した香りに優れた海苔加工品を得る。

#### 参考文献

- 内藤茂三：食品と変敗微生物、幸書房（2016）
- 山口勝己：水産生物化学、東京大学出版会（1991）
- 三輪勝利：水産加工品総覧、光琳（1983）
- 原藻の形状を保持した海苔加工食品の製造方法：特開平3-130055
- 海苔葉体気泡殺菌装置：特許公開62-186740

（内藤茂三 食品・微生物研究所）

## 腸内細菌について

### メタジェノミクスと腸内細菌相の解明

その場に存在する全ての微生物遺伝子を増幅し解析する、メタジェノミクスという研究方法が近年になって発展し、これに使う高速なコンピューター（次世代コンピューター）とともに普及し始めた。これによって微生物生態学の分野には革命的な変化が訪れ、従来の培養法で得られた知識とは比べものにならないほど豊かな知見をわれわれはもつことになった。これによって、従来はその一部しか知られていなかった腸内細菌相の全容も、その役割も明らかにされつつある。

2007年頃からは日本・アメリカ・ヨーロッパ・中国などの参加する、人のマイクロバイオーム研究国際組織（International Human Microbiome Consortium、IHMC <http://www.human-microbiome.org>）も発足し、その関係する研究内容もますます膨大なものになっている。

腸内細菌相についてのレビューや研究報告もおびただしい数にのぼるが、Guarnerの著書、あるいはCènitたちの総説が包括的である

### 人の腸内細菌相の特徴

まず、人の腸内には大腸を中心として約100兆の微生物が生息しており、その大部分は細菌である。

Arumugam (2011) たちは、腸内細菌相についてのいくつかの研究結果を（日本人についてのKurokawaたちのデー

タを含め）まとめている。それによると、人の腸内には1000種余りの細菌がいるが、その大部分は2つの門（phylum）、すなわち、ファーミキューテス門（phylum Firmicutes）とバクテロイデス門（phylum Bacteroidetes）の細菌で占められている。これについて、アクチノバクテリア（phylum Actinobacteria）、さらにプロテオバクテリア（phylum Proteobacteria）と続いている（図1）。

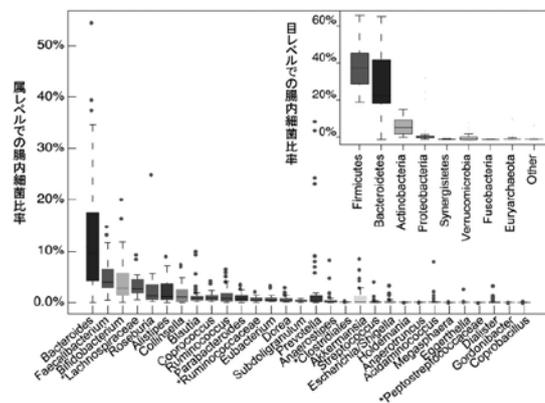


図1 人の腸内細菌相

ファーミキューテスはグラム陽性菌で、クロストリジウム、乳酸菌、ルミノコッカスが含まれ、バクテロイデーテスはグラム陰性菌でバクテロイデス、プレボテラ、ユーバクテリアが含まれ、アクチノバクテリアはグラム陽性菌でビフィズス菌（*Bifidobacteria*）を含む。プロテオバクテリアは大腸菌、プロテウスなどを含む。大腸菌にしろ、プロテウスにしろ、培養法では容易に検出される種類だけれど、実際に腸内細菌相の1パーセントにも満たない。また、乳酸菌についても同様で、やはり1パーセント以下となっている。

腸内細菌相は、生後の乳幼児期に作り上げられる。その後は長い間安定していて、大きな変化はないという研究が多い。一方、個人により差があり、一卵性双生児の間でも異なっている。また、国や地域による違いはさらに大きい。このことは中山たち（Nakayama et al. 2015）もアジア諸地域（日本・中国・台湾・タイ・インドネシア）の7才~11才の子供たち（各地域25人以上）の腸内細菌相を調査してあきらかにしている。（図2）

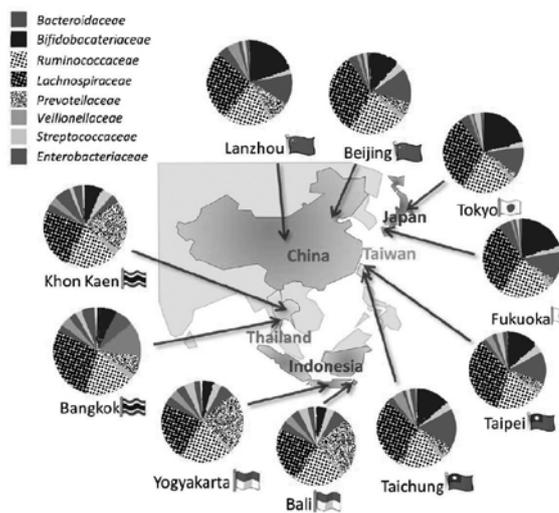


図2 アジアの子供達の腸内細菌相

日本の子供たちの腸内細菌相では、ビフィドバクテリアが多く、プレボテラが少ないのが特徴のようである。食生活の違いが細菌相の特徴の大きな原因になっているだろうけれど、この違いが子供たちの病気、健康にどのような影響を及ぼしているのかは、まだ、将来の研究にかかっている。

#### 腸内細菌相の機能

このような著しい個人差、地域差にもかかわらず、腸内細菌総体としての代謝機能、免疫機能はほぼ同一であるという著しい特徴をもっている。このようなことから、腸内細菌相は、人の食べ物のなかの雑多な細菌のなかから、選択されて腸管という安定な環境に定住する一方、それぞれがもつ様々な機能を通じて人の役に立っているだろうと考えられる。

腸内細菌相が人の体内で果たしている働きの中には、ヒトの消化しないさまざまな糖（マルトース、ガラクトース、キシロース、マンノース、フラクトースなどの）の多糖類を消化して人の吸収するエネルギー源をつくること、また、多種類のビタミン（B群のビタミン、ビタミンK、ニコチン酸、葉酸）をつくること、酢酸・酪酸・乳酸などをつくり、有害な微生物の侵入を妨ぐこと。などのような代謝機能がある。

さらに、腸内細菌の重要な働きとして、免疫機能の調整があげられる。

人の免疫系と腸内細菌相との関係は非常に複雑だが、細菌は腸粘膜の正常な免疫作用にはたらしかけ、宿主である人の免疫作用が腸内細菌相を攻撃しないようにし、一方、安定した腸内細菌相は外から入り込んだ有害な細菌が腸粘膜に住み着き、増殖することを妨げている。

#### 腸内細菌相と人の健康・病気

腸内細菌相の乱れが多くての病気と関係のあることが、近年数多く知られてきている。

炎症性腸疾患に罹っている人では腸内細菌相のアンバランスがおきる。たとえばクローン病にかかっている人では、腸内細菌相が単純になり、とくにファーミキューテスグループ（グラム陽性細菌）に属する細菌では種の数が1/3以下に減少する。なかでもクロストリジウム属の細菌（*Cl. leptum*, *Cl. coccoides* など）が少なくなる（Manichanh et al., 2006）。このことはクロストリジウムなどのつくる酪酸などの代謝産物が、腸壁との対話を通じて、免疫寛容に寄与しており、このような菌種が少なくなることによって、腸の炎症につながる異常な免疫反応が起こることを示唆している。クロストリジウムというと、腸内の“悪玉”と見なされるかもしれないが、実際には腸粘膜の炎症を防ぐ働きをもつ種類のあることが分かる。

赤痢菌や病原大腸菌などの病原菌が、有害であり、悪玉菌という名に値することは言うまでも無いが、そのほかの様々な菌種についても、宿主である人との間で、あるいは、同じ腸内細菌同志の間で、さまざまな相互作用を営んでおり、善玉・悪玉というように単純に決めつけることはできないだろう。

腸内細菌と人の健康との関係では、奇妙なことだが、肥満に伴って腸内細菌相が単純化していることも報告されて

いる（Turnbaugh, P. J. et al. 2009）。

さらにアトピー性疾患、関節炎、II型糖尿病から、自閉症・鬱のような脳神経疾患まで、腸内細菌相の乱れが伴う病気・健康異常状態が報告されており、研究の進展とともにその種類は増えていくだろう。

#### 腸内細菌相の正常化

人の健康に役立つ微生物を口から取り込んで腸内細菌相を改善しようという試みは、先にNo.173《長寿と乳酸菌》で述べたようにメーチニコフ（Metchinikoff, I.I. 1908）に始まる。近年になってヨーグルトなどの飲料を通して乳酸菌さらにビフィズス菌の飲用が活発になり、プロバイオティックスの名も普及してきた。多種類の飲料が、数多くのメーカーから販売され、その数は30種近くに及んでいる。

また、さらに重要視しなければならないのが食物である。人により、住む国により、異なる腸内細菌相をもっていることは、それぞれの人の食べる食物の種類が、長い間にはその腸内細菌相に大きな影響を及ぼしていることを示唆している。

良い働きをする腸内細菌を増やすために、特別の食餌をとろうというのが、プロバイオティックスの考え方である。この中には乳酸菌・ビフィズス菌・酵母のような微生物もあり、また、人は消化しないけれども、有用な腸内細菌の増殖を助けるような食物繊維や多種類のオリゴ糖類もある。このようなオリゴ糖類はネギ・タマネギ・ゴボウ・トウモロコシ・ブロッコリー・キャベツ・大豆・乳製品・蜂蜜など数多くの食品に含まれている。また、これらのオリゴ糖を飲料、菓子、などに入れて特定保健用食品の認可を受けて市販している食品も多種類にのぼっている。

このようなプロバイオティクスについても、それぞれ、腸内細菌相にどのような変化を生ずるのかを長い時間をおして調べ、また、その変化が人の健康にどのような影響を与えるのかについて、将来、さらに幅の広い、詳細な研究が進展することを望みたい。

#### 文献

- 1) F. Guarner 2012. The Enteric Microbiota, pp.79, Morgan and Claypool Life Sciences.
- 2) M. C. C nit, G. Matzaraki, E. F. Toghiani and A. Zhernakova 2014. Rapidly expanding knowledge on the role of the gut microbiome in health and disease. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1842: 1981-1992.
- Arumugam M. et al., (2011) . Enterotypes of the human gut microbiome. *Nature*, 473: 174-180
- 3) C. Manichanh et al., 2006. Reduced diversity of fecal microbiota in Crohn's Disease revealed by a metagenomic approach. *Gut* 55:205-211
- 4) J. Nakayama et al., 2015. Diversity in gut bacterial community of school-age children in Asia. *Scientific Reports*, 5: 8397 DOI:10. 1038/sre0 08397
- 5) Turnbaugh, P. J. et al., 2009. A core gut microbiome in obese and lean twins. *Nature*, 457: 480-485

清水 潮（元東京大学海洋研究所教授）

## アサマ化成株式会社

E-mail : asm@asama-chemical.co.jp

http : //www.asama-chemical.co.jp

●本社 / 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町20-6 TEL (03)3661-6282 FAX (03)3661-6285  
 ●大阪営業所 / 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-6-13 御幸ビル TEL (06)6305-2854 FAX (06)6305-2889  
 ●東京アサマ化成 / 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町16-20 TEL (03)3666-5841 FAX (03)3667-6854  
 ●中部アサマ化成 / 〒453-0063 名古屋市市中村区東宿町2-28-1 TEL (052)413-4020 FAX (052)419-2830  
 ●九州アサマ化成販売 / 〒815-0031 福岡県福岡市南区清水1-16-11 TEL (092)408-4114 FAX (092)408-4350  
 ●桜陽化成 / 〒006-0815 札幌市手稲区前田五条9-8-18 TEL (011)683-5052 FAX (011)694-3061